

杵構造の巨礫衝突と面外流体力の解析試案

日鐵建材工業(株)
日鐵プラント設計(株)
(有)合津

○岩釣 敬一、大隅 久
是枝 源一
合津 敏一

1. はじめに

鋼製杵構造えん堤の対土石流の耐荷力を数値解析等で試みた事例は、杵破断時に一部あるのみでほとんどない状況である。現行基準では、杵構造の部材断面が比較的細いこともあり、盛土や布団かごを設置することで対応されてきた¹⁾²⁾が、問題点が多い。筆者らは、前回、杵構造の「外付け緩衝補強材」の開発目的に、巨礫の衝突のエネルギー吸収能をFEM解析で試算した。その結果、従来方式でなく補強材に角パイプを採用すれば、一定の条件で充分有効である可能性を見出した。

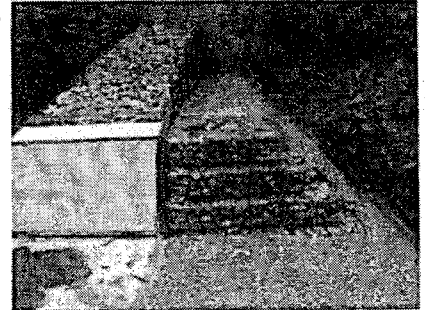


写真-1 袖部に盛土した杵えん堤

今回は、さらに、より合理的な部材選定と面外流体力を考慮した構造解析を試算したので報告する。

2. 解析条件

2.1 解析ソフト 巨礫：LS-DYNA、面外流体力：FAP3

2.2 設計外力

2.2.1 巨礫の衝突

表-1 巨礫の設計条件と緩衝補強材

直径	速度	回数	支持台高	位置	角パイプ(蓋なし)
1.0m	6m/s	1回	約160mm	補強材中央部	100×100×4.5
0.6m(繰返しの場合)		5回		補強材柱	STKR490

2.2.2 流体力

兩岸の袖部の内、片側にのみに等分布荷重として掛けるものとする。流速と土石流水深の組み合わせは、表-2の4ケースとする。

表-2 流体力の設計条件

流速		土石流水深		位置	面外角度
5m/s	10m/s	1.0m/s	1.5m/s	袖天端から下	30度

2.3 構造

2.3.1 袖部の断面寸法

天端幅：3.0m、袖高さ：4.0m (2m杵×2段)、矩形

2.3.2 緩衝補強材の設置箇所

①袖部上流側 ②水通し部-2m

2.3.3 緩衝補強材の反力低減策

①支持台が変形してエネルギー吸収する ②角パイプの蓋なし

2.3.4 対面外流体力対策

堤長方向に「筋かい」を設置(袖部及び水通し部-2mの杵に)

対面内流体力対策

杵断面方向に筋かいを設置(従来通り)及び上流側柱の補強

2.3.5 骨組と中詰材

外力には鋼骨組(トラス)で抵抗し、中詰材は重さとしての役割

3. 解析結果と考察

3.1 緩衝補強材

3.1.1 角パイプ端部の蓋、支持台形状

表-3のケース7~9の結果から、角パイプの端部の蓋はない方が良く、ケース8から、H or CT形鋼を使用すると、礫が直撃した場合に支持反力が大きくなり過ぎ(804KN)で、杵本体(袖)への影響が懸念される。

3.1.2 変形する支持台、繰返し荷重

板ばねを支持台に使用することで、荷重分散のバランスが良くなり、衝突位置による反力差がなくなることが判明(ケース10、11)。同じ位置に1m直径の1/5の質量を5回繰返し载荷した結果も問題ないことがわかった(ケース12、13)。

表-3 緩衝補強材の解析結果

ケース	直径	回数	衝突位置	蓋	支持台形状	変形量(累計)	支持反力計
7	1.0m	1回	ユニット中心	あり	H or CT 形鋼	161mm	232kN
8	1.0m	1回	中央の柱	あり	H or CT 形鋼	45mm	804kN
9	1.0m	1回	中央の柱	なし	H or CT 形鋼	81mm	481kN
10	1.0m	1回	中央の柱	なし	板ばね	155mm	232kN
11	1.0m	1回	ユニット中心	なし	板ばね	160mm	232kN
12	0.6m	5回	ユニット中心	なし	板ばね	127mm	251kN
13	0.6m	5回	中央の柱	なし	板ばね	123mm	247kN

注：ケース 1～7 は H16 年度に発表済み。ケース 7 のみ比較のため記載した。

3.2 流体力

3.2.1 解析結果 (面内)

表-4 の結果から、ケース 1 又はケース 2 の条件では、現状の設計断面サイズをあまり補強 Up なくとも対応できることがわかる。

表-4 流体力解析結果 (面内)

ケース	流速	水深	上流柱(上段)	上流柱(下段)	下流側柱	水平材	筋交い
	0		H150×150	H150×150	H150×150	[150×75]	[150×75]
1	5m/s	1m	補強あり	補強あり	補強必要なし	補強必要なし	補強必要なし
2	5m/s	1.5m	補強あり	補強あり	補強必要なし	補強必要なし	補強必要なし
3	10m/s	1m	補強あり	補強あり	補強あり(下段)	補強あり	補強あり(下段)
4	10m/s	1.5m	補強あり	補強あり	補強あり(下段)	補強あり	補強あり(下段)

3.2.2 解析結果 (面外)

表-5 の結果から、ケース 2 の条件までは、比較的補強部材が軽量で済むことがわかる。

表-5 流体力の解析結果 (面外)

	面外なし	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4
水平材	[125×65]	補強必要なし	補強必要なし	補強必要なし	補強あり(上段)
筋交い	-	1-Φ29	1-Φ32	2-Φ38	1-[150×75]

4. まとめと今後の課題

- 4.1 標準的なトラス構造の枠えん堤に、「緩衝補強材」を外付けし、「堤長方向に筋交い」を追加することによって、中規模の土石流までであれば、衝撃、面外流体力に対して有効であることがわかった。
- 4.2 巨礫の衝突の耐力は、25kN・m程度（設計礫径 1.0m の場合、速度 6 m/s に相当）までの礫の運動エネルギーなら「緩衝補強材」の変形（角パイプと支持台）によって、エネルギー吸収可能である。それ以上の場合は、補強材が枠本体にあたるようになるので、別途検討が必要になる。
- 4.3 面外（30 度まで）流体力を考慮した袖部の構造は、土石流水深 1.5m 程度までなら、「上流側柱だけ断面サイズを一ランク Up し、筋交いの追加」によって可能である（流速 5.0m/s、袖厚さ 3m で）。これ以上の場合は、さらに柱断面サイズ Up と他の部位の補強・増工等が必要となってくる。
- 4.4 今後は、実験的な検証と試算ケースを増やして、部材の「標準化」などを行い、より実用的なものとして取りまとめていきたい。また、今後の課題として、枠本体（袖部）にエネルギー吸収（動的、静定）を一定程度負担させる等の解析を検討していきたい。

5. 参考文献

- 1) 鋼製砂防構造物設計便覧 H13 年版 (財) 砂防・地すべり技術センター
- 2) 土木研究所資料第 2169 号